

CIÊNCIA DE DADOS · UNIFOR · 24 DE JUNHO DE 2026

Industry 4.0 Technologies as Enablers of Industrial Symbiosis: Overcoming Barriers and Enhancing Drivers for Ecological Industrial Park Implementation

Por Roderick Cabral Castello-Branco, Fernando Luiz Emerenciano Viana e Bruno de Souza Lessa

Fonte: OpenAlex · Unifor · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO	APLICABILIDADE	POTENCIAL ECONÔMICO	MATURIDADE
8/10	9/10	8/10	Média

O artigo analisa como tecnologias da Indústria 4.0 (IoT, Big Data, Blockchain) podem superar barreiras para a implementação de Simbiose Industrial e Parques Industriais Ecológicos, com base em estudo de campo no Polo Industrial de Manaus. Conclui que a tecnologia é fundamental para transparência e otimização, mas não é uma 'bala de prata', exigindo governança e desenvolvimento humano.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Plataforma B2B de 'Marketplace de Resíduos Industriais' com inteligência artificial para matching automático de oferta e demanda de subprodutos, integrada a Blockchain para rastreabilidade e créditos de sustentabilidade.

Aplicações práticas

Implementação de plataformas digitais para troca de subprodutos (waste-to-resource), uso de Blockchain para garantia de origem e conformidade regulatória, e IoT para monitoramento em tempo real de fluxos de materiais.

Potencial de mercado

Alto, impulsionado por regulações ESG globais e a necessidade de eficiência operacional. Há uma lacuna de mercado para soluções B2B que integrem sustentabilidade com digitalização industrial.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

A dificuldade de transição do modelo de produção linear para a Economia Circular devido a barreiras econômicas, técnicas, informacionais e, crucialmente, à falta de autonomia institucional em polos industriais.

Metodologia

Pesquisa qualitativa através de entrevistas semiestruturadas com 9 gestores industriais e 7 especialistas tecnológicos no Polo Industrial de Manaus (MIP) para mapear barreiras e facilitadores.

Principais descobertas

Foram identificadas 19 barreiras e 14 facilitadores. A Indústria 4.0 atua fortemente em categorias econômicas, técnicas e informacionais. Foi descoberta uma nova barreira: falta de autonomia institucional de gestores locais. O sucesso depende de uma abordagem sócio-técnica, não apenas da tecnologia.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Desenvolvimento de políticas estaduais para fomentar Parques Industriais Ecológicos (EIPs) no Ceará, focando em digitalização e autonomia de gestão para parques como o Pecém.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Cooperação técnico-científica entre UNIFOR e o Complexo Industrial e Portuário do Pecém para validar um modelo de governança digital apoiado em tecnologias Industry 4.0.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

4 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO ALTO · INDÚSTRIA 4.0

EcoMatch Symbiosis Platform

Startup SaaS B2B focada em algoritmos de Big Data para conectar empresas geradoras de resíduos a empresas que os utilizam como matéria-prima, com auditabilidade via Blockchain.

POLÍTICA PÚBLICA · IMPACTO ALTO · GOVTECH

Programa Ceará Indústria 4.0 Circular

Política pública para criação de incentivos fiscais para indústrias em polos locais (Pecém, Maracanaú) que adotarem tecnologias de simbiose industrial e transparência de dados.

PARCERIA · IMPACTO MÉDIO · CIÊNCIA DE DADOS

Hub de Inovação em Ecologia Industrial

Parceria entre UNIFOR e indústrias locais para criar um Living Lab de testes de IoT e Data Science voltado à gestão de recursos compartilhada.

Módulo de Rastreabilidade de Ativos Circulares

Solução de software corporativo para gestão de ciclo de vida de produtos, permitindo que indústrias monitorem e certifiquem o uso de materiais reciclados ou simbióticos.

ABSTRACT ORIGINAL

Abstract The linear production model is fundamentally incompatible with finite resources and limited ecosystem regeneration capacity, necessitating a systemic transition toward a Circular Economy (CE). Industrial Symbiosis (IS) and Ecological Industrial Parks (EIPs) represent key strategies for operationalizing CE principles, yet their widespread implementation faces significant barriers. Concurrently, Industry 4.0 technologies offer largely underexplored potential to facilitate this transition. This article investigates how Industry 4.0 technologies can influence IS and EIP implementation through qualitative field research at the Manaus Industrial Park (MIP), located in the Brazilian Amazon. The study involved semi-structured interviews with nine industrial managers and seven technology specialists, identifying 19 barriers and 14 drivers for IS across seven categories: economic, informational, cooperation, technical, regulatory, community, and commitment to sustainable development. Findings reveal that Industry 4.0 technologies influence varies significantly by category, with economic, technical, and informational factors most susceptible to technological intervention. A novel barrier, lack of institutional autonomy among local managers, was identified. While technologies such as Big Data, Blockchain, and IoT offer powerful tools for enhancing transparency, trust, and resource matching, they are not a panacea. Successful implementation requires a socio-technical approach integrating technological solutions with human skills development, collaborative business models, and supportive policy frameworks.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Como a Indústria 4.0 pode ajudar a transformar resíduos em recursos

O cenário atual

O modelo de produção linear, no qual extraímos recursos, produzimos e descartamos, é incompatível com a finitude dos recursos naturais e com a capacidade de regeneração dos ecossistemas. Para superar isso, é necessário uma transição sistemática para a Economia Circular. A Simbiose Industrial e os Parques Industriais Ecológicos são estratégias fundamentais para colocar essa economia em prática. No entanto, a implementação desses conceitos enfrenta barreiras significativas.

O que os pesquisadores fizeram

Os pesquisadores realizaram uma pesquisa qualitativa de campo para entender como as tecnologias da Indústria 4.0 podem influenciar a adoção da Simbiose Industrial e de Parques Industriais Ecológicos. O estudo focou no Polo Industrial de Manaus (PIM), na Amazônia brasileira. A metodologia envolveu entrevistas semiestruturadas com nove gerentes industriais e sete especialistas em tecnologia.

Como funciona na prática

O estudo investigou como tecnologias emergentes podem atuar na Simbiose Industrial, onde o resíduo de uma empresa se torna a matéria-prima de outra. Ferramentas como Big Data, Blockchain e Internet das Coisas (IoT) foram analisadas quanto à sua capacidade de facilitar esse processo. Elas funcionam aumentando a transparência, gerando confiança entre as partes e ajudando no casamento de ofertas e demandas de recursos.

Resultados e evidência

A pesquisa identificou 19 barreiras e 14 fatores facilitadores para a Simbiose Industrial. Estes foram classificados em sete categorias: econômicos, informacionais, cooperação, técnicos, regulatórios, comunidade e compromisso com o desenvolvimento sustentável. Os resultados mostram que a influência das tecnologias varia conforme a categoria. Os fatores econômicos, técnicos e informacionais são os mais suscetíveis à intervenção tecnológica. Além disso, o estudo identificou uma nova barreira: a falta de autonomia institucional entre os gestores locais.

Implicações práticas

Embora o Big Data, a Blockchain e a IoT ofereçam ferramentas poderosas, o estudo alerta que elas não são uma solução mágica (panaceia). A implementação bem-sucedida requer uma abordagem sociotécnica. Isso significa que não basta instalar tecnologia; é preciso integrar as soluções tecnológicas com o desenvolvimento de habilidades humanas, a criação de modelos de negócios colaborativos e a existência de políticas públicas de apoio.

Limitações e próximos passos

O paper não detalha os próximos passos específicos para a continuidade da pesquisa, mas estabelece uma limitação clara da abordagem puramente tecnológica. Tecnologias por si só não superam todas as barreiras, especialmente aquelas relacionadas à cooperação e aspectos regulatórios, exigindo portanto uma gestão integrada de pessoas e processos.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo foi desenvolvido por Roderick Cabral Castello-Branco, Fernando Luiz Emerenciano Viana e Bruno de Souza Lessa, autores affiliated à UNIFOR. O material fornecido não detalha a formação acadêmica específica, trajetória profissional ou papéis individuais de cada autor na pesquisa, limitando-se a informar seus nomes e vínculo institucional.

PALAVRAS-CHAVE

Industrial symbiosis · Industrial park · Industrial ecology · Operationalization · Autonomy · Resource (disambiguation) · Industry 4.0 · Sustainability · Emerging technologies